

UAV-gestützte Detektion von Kiebitznestern in Agrarflächen

UAV-based Detection of Lapwing Nests in Agricultural Fields

Martin Israel

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Methodik der Fernerkundung,
Münchnerstr. 20, 82234 Wessling, martin.israel@dlr.de*

Zusammenfassung:

Viele Bodenbrüter sind vom Aussterben bedroht, da die zunehmend intensivierte Landwirtschaft diesen Vögeln den natürlichen Lebensraum nimmt und beim Ausweichen auf Agrarflächen ihre Brut zerstört. Dieser Beitrag stellt eine neue Methode vor, mit der Nester von Kiebitzen und anderen Bodenbrütern gefunden werden können, um sie vor der Zerstörung durch Bodenbearbeitungs-Landmaschinen zu schützen. Ein Kiebitznest kann mit einer Thermalkamera auf einem kleinen unbemannten Fluggerät (UAV) aus einer Höhe von 40 m entdeckt werden. Die hier vorgestellte Bildverarbeitung für Mikrobolometer-basierte Thermalkameras ermöglicht eine Kontrasterhöhung von 10 bis 50 %. Dies führt zu einer deutlichen Erleichterung bei der Detektion der Kiebitznester. In den Brutperioden der beiden Jahre 2015 und 2016 konnten in Mess-Kampagnen insgesamt 93% der Kiebitznester gefunden werden. Der Beitrag beschreibt den Systemaufbau, das Verfahren sowie Ablauf und Ergebnisse der Mess-Kampagnen.

Deskriptoren: UAV, Bodenbrüter, Detektion, Artenschutz, Drohne, MAV, RPAS, Multikopter, Kiebitz, Nest

Abstract (Zusammenfassung in englischer Sprache):

Many ground breeding birds are threatened with extinction, as increasingly intensified agriculture steal the natural habitat of the birds and destroys their broods when they breed on harvested agricultural fields. This paper introduces a new method of finding nests of lapwings and other ground breeding birds to protect them from being destroyed by tillage machines. A lapwing nest can be discovered with a thermal camera on a small unmanned aerial vehicle (UAV) from a height of 40 m. The image processing presented here for microbolometer-based thermal cameras allows a contrast enhancement of 10 to 50%. This improves the detection of the lapwing nests. In the breeding periods of the two years 2015 and 2016, a total of 93% of the lapwing nests could be found in measuring campaigns. The paper describes the system and the workflow and results of the measuring campaigns.

Keywords: UAV, ground breeding birds, detection, thermal imaging, drone, MAV, RPAS, lapwing, species protection

1 Einleitung

Der Kiebitz (Abb. 1, links) ist ein Zugvogel, der ursprünglich in Feuchtgrünlandflächen wie Marschwiesen, Vordeichwiesenflächen und anderen Weidelandschaften der Niederungen brütet. Aufgrund der zunehmend dichten Agrarlandbewirtschaftung weicht der Kiebitz immer mehr auf Ackerflächen aus, auf denen allerdings der Bruterfolg deutlich geringer ist. Ohne besondere artnerhaltende Maßnahmen fallen die Eier der frühen Nester der Bodenbearbeitung zum Opfer.

Wenn man die Nester findet und dann so markiert, dass der Landwirt bei der Bearbeitung diesen Bereich ausspart, kann man den Bruterfolg erhöhen. Es bleiben dann Inseln, wie in Abb. 1 (rechts) zu sehen.



Abbildung 1 links: männlicher Kiebitz, Foto: A Trepte, www.photo-natur.de. Rechts: Von der Bodenbearbeitung freigelassene Insel, auf der sich zwischen den zwei Stäben ein Kiebitznest befindet.

Es hat sich aber gezeigt, dass diese Maßnahme alleine oft nicht ausreicht, um den für die Arterhaltung minimal nötigen Bruterfolg von 0,8 Küken pro Brutpaar [8] zu erreichen. Um den Schaden durch Prädatoren zu minimieren, wird das Gelege daher bei kritischem Bestand zusätzlich mit einem Elektrozaun umzäunt [9].



Abbildung 2: Beispiele von Kiebitznestern (gefunden im Rahmen der beschriebenen Kampagnen)

Die klassische Methode, um Kiebitznester zu finden, ist in Abbildung 3 gezeigt. Mit einem Spektiv oder Fernrohr wird der brütende Kiebitz aus dem Auto heraus beobachtet. Manche Ferngläser sind mit einem Laserdistanzsensor ausgestattet. Damit kann die Entfernung zum Vogel genau gemessen werden. Da der Vogel bei Annäherung davon-

fliegt, wird ein Objekt angepeilt, das genau hinter dem auf dem Nest sitzenden Vogel liegt. Dieses wird bei Annäherung immer im Auge behalten. Der Vogel fliegt in der Regel bereits bei einer Annäherung auf 50 bis 100 m auf. Deshalb muss man blind der Peilung folgen und Schritte zählen. Diese Methode funktioniert nur, solange der brütende Kiebitz aus der Ferne sichtbar ist.

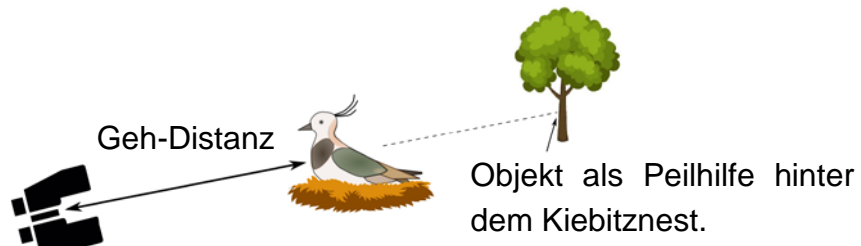


Abbildung 3 Die klassische Methode, um ein Kiebitznest zu finden.

Dass die UAV basierte Beobachtung von Wildtieren eine gute Alternative zu klassischen Beobachtungsmethoden sein kann, zeigen verschiedene Veröffentlichungen (z.B. [1]). Luftgestützte Thermalkameras werden ebenfalls bereits häufig zur Beobachtung von Wildtieren eingesetzt [2].

2 Material und Methoden

Die hier vorgestellte Methode mit einem UAV mit Wärmebildkamera könnte eine gute Ergänzung darstellen. Als Alternative zur klassischen Methode kommt die UAV-basierte Methode nur in Frage, wenn sie entweder schneller und/oder zuverlässiger ist.

Für die Detektion von Kiebitznestern ist ein kleines Rotor-basiertes UAV oder ein Micro Aerial Vehicle (MAV) geeignet. Beim automatisierten Flug mit Rotor-basierten UAVs kann man zwei Modi unterscheiden. Den Waypoint Modus und den Timelapse Modus. Beim Waypoint Modus werden Wegpunkte angeflogen und jeweils an jedem Wegpunkt ein oder mehrere Fotos aufgenommen. Die Wegpunkte sind so angeordnet, dass sie zu einem gewissen Grad überlappen. Beim Timelapse Modus wird die Kamera während des Überflugs in einem fest Zeittakt ausgelöst, oder es wird ein Video aufgezeichnet. Der Waypoint Modus hat den Vorteil, dass die Geolokalisierung der aufgenommenen Daten präziser erfolgen kann. Der Nachteil ist die geringere Flächenleistung.

Wir benutzen ein Drehflügler-MAV (Falcon 8, Fa. Ascending Technologies), das wir auch zum Detektieren von Rehkitzen benutzen [10]. Die Payload besteht aus einer Thermal Infrarot (IR) Kamera (Tau 640, Fa. FLIR) mit einem 19 mm Objektiv und einer Kamera im sichtbaren (VIS) Spektralbereich (GoPro 3+ Black Edition) mit einem speziellen Objektiv mit schmalen Sichtwinkel. Abbildung 4 zeigt das System. Die Bildrohdaten der Thermalkamera und einige Georeferenzierungsdaten des UAV werden von einem speziellen Datenlogger (FlirSD) von Ascending Technologies aufgezeichnet. Mit einem 5800 mAh LiPo Akku fliegt das MAV ca. 12 Minuten. Wir nutzen die Timelapse Strategie, um maximale Flächenleistung zu erreichen.

Im Rahmen der Arbeit zur Detektion der Rehkitze mit unserem UAS haben wir eine Suchstrategie entwickelt, die wir auch dazu verwenden die Kiebitznester zu finden. Abbildung 5 zeigt den Workflow: Der erste Schritt ist die Softwarebasierte Flugplanung. Die zu überfliegende Fläche wird auf einer Karte mit einem Polygon gekennzeichnet. Unsere Flugplanungssoftware [5] berechnet einen optimierten Flugpfad. Danach startet das UAV. Während des Überflugs wird im Sekundentakt ein Bild von der Szene aufgenommen. Die GPS-Position, die Kameraorientierung, der Aufnahmezeitpunkt und einige weitere UAV-Sensordaten werden gemeinsam mit dem Bild auf einer SD-Karte abgespeichert.

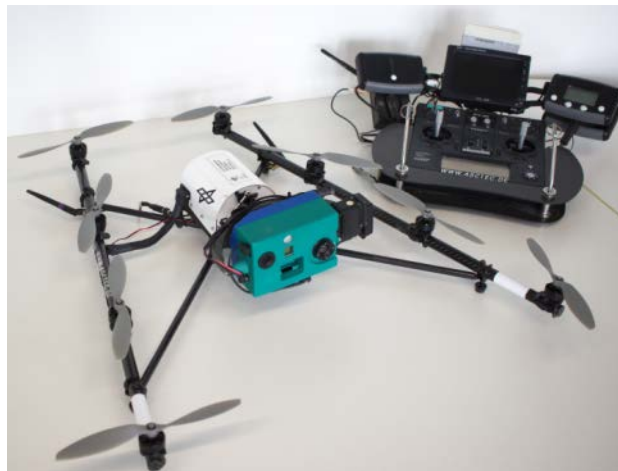


Abbildung 4: Falcon 8 von Ascending Technologies. In der grünen Payload-Box befindet sich eine Thermal und eine VIS Kamera.

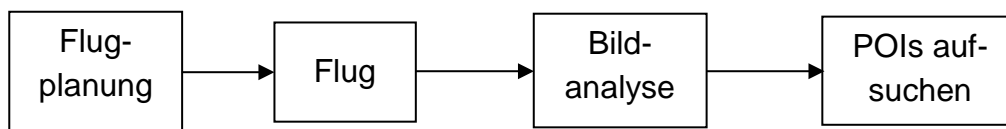


Abbildung 5 Aktueller Workflow zur Suche und Markierung von Kiebitznestern

Die Kameras sind senkrecht nach unten gerichtet und werden durch einen Gimbal stabil gehalten. Das System fliegt automatisch von Wegpunkt zu Wegpunkt, bis die Fläche vollständig erfasst wurde. Der Pilot muss nur im Notfall eingreifen. Nach dem Flug folgt der Bildanalyseschritt. Dazu wird die SD-Karte mit den Rawdaten ausgelesen. Mit Hilfe der GPS-Position, der Orientierung der Kamera und einem Höhenmodell der Szene können die interessanten Punkte (engl. Points of Interest; POIs) georeferenziert werden. Die GPS-Positionen dieser POIs werden dann auf ein Hand-GPS-Gerät übertragen. Im letzten Schritt geht eine Person mit Hilfe des GPS-Gerätes zu jedem POI. Im Falle einer korrekt positiven Klassifizierung wird das Kiebitznest mit zwei Stangen markiert (Abb. 1 rechts). Der Landwirt weiß damit, wo sich das Nest befindet und kann diese Stellen unbearbeitet lassen.

In [3] wurden verschiedene Suchstrategien mit dem Fokus auf praktischen Einsatz und hohe Flächenleistung miteinander verglichen. Obwohl die Strategie aus Abbildung 5 sequentiell angelegt ist, war sie für den Fall der Rehkitzdetektion zuverlässiger und lieferte eine höhere Flächenleistung als Strategien mit paralleler Auswertung mit Hilfe von Live Monitoring und Markierung während des Fluges. Für die Kiebitznest-Detektion gibt es bisher keinen solchen Vergleich, aber es wird ein ähnliches Ergebnis erwartet.

Die Bilder von Mikrobolometer-basierten Thermalkameras sind aufgrund der fehlenden Kühlung stark fehlerbehaftet. Eine Änderung der Kamergehäusetemperatur um ein Kelvin hat beispielsweise im vorliegenden Aufbau die gleiche Auswirkung auf ein mitti-

ges Bildpixel wie eine Änderung der Szenentemperatur um fünf Kelvin. Der Einfluss ist abhängig von der Position des Pixels. Aus diesem Grund weisen viele Thermalbilder von Mikrobolometer-basierten Kameras einen Effekt auf, der wie eine Vignettierung aussieht (siehe Abb. 7 links).

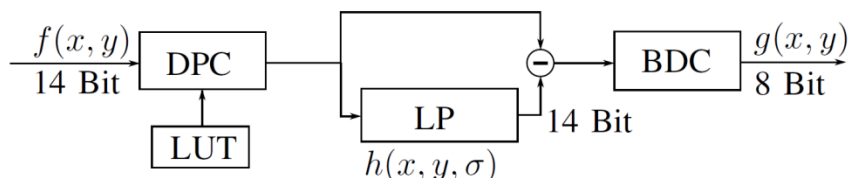


Abbildung 6 Blockdiagramm des MbOpt-Algorithmus zur Thermalbild-Vorverarbeitung (Erläuterung im Text)

Mit dem Mikrobolometer Optimierungs-Algorithmus (MbOpt, siehe Abb. 6) kann der Kontrast im Thermalbild und damit die Detektierbarkeit eines Kiebitznestes deutlich erhöht werden. Das 14-Bit Rawbild wird als erstes einer Dead Pixel Correction (DPC) unterzogen. Die Information über die Position der toten Pixel kommt aus einer Lookup-Tabelle (LUT). Das DPC-geländerte Bild wird nun mit einem Tiefpass (engl.: Lowpass, LP) mit einer Filtergröße von 147 Pixeln gefaltet. Das resultierende Bild wird subtrahiert von dem DPC-geländerten Bild. Die Farbtiefe des Ausgangsbildes wird dann durch die Bit Depth Compression (BDC) linear auf 8-Bit komprimiert. Der Gradientenverlauf ist im Ausgangsbild bei den meisten Bildern nicht mehr zu erkennen (siehe Abb. 7 rechts).

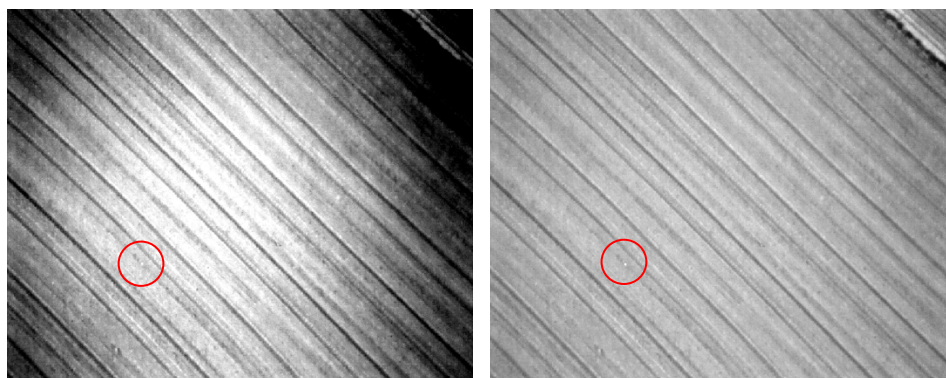


Abbildung 7 Thermalbild einer Agrarfeld-Szene aus 50 m Flughöhe mit einem schwierig zu detektierendem Kiebitznest. Links ist das unbearbeitete Bild des Analogausgangs der IR-Kamera zu sehen. Rechts wurden die Rawdaten des Bildes mit dem MbOpt-Algorithmus prozessiert. Der rote Kreis markiert das Kiebitznest.

3 Ergebnisse und Diskussion

An sechs verschiedenen Tagen haben wir an drei verschiedenen Standorten 17 Flüge durchgeführt und dabei 15 Nester detektiert. Die ersten neun Flüge (Mns1-Mns9) wurden am 17. und 18. April 2015 in der Nähe von Münster in Zusammenarbeit mit der Nabu Naturschutzstation Münsterland durchgeführt. Hausen (Hsn1 und Hsn2) war der zweite Standort, 40 km westlich von München. Am 2. Mai 2015 fanden dort zwei Flüge. Der dritte Standort war in der Nähe von Wasserburg (Wsb1-Wsb6). In Zusammenarbeit mit der unteren Naturschutzbehörde Rosenheim wurden dort im Jahr 2015 und 2016

Flüge durchgeführt. Die Flüge erfolgten in verschiedenen Höhen zwischen 30 und 80 Meter. Die aufgenommenen Bilder hatten eine Überlappung von 30% quer zur Flugrichtung. Entlang der Flugrichtung variierte die Überlappung zwischen 30% und 95%. Abb. 8 zeigt die beiden Flugpfade Mns8 (grün) und Mns 9 (blau). Die grünen und blauen Punkte markieren die UAV-Positionen zum Zeitpunkt der Aufnahme eines Fotos. Die pinken Punkte markieren die aus den jeweiligen Bildern rückprojizierte Position der beiden Kiebitznester 8 und 9. Aufgrund fehlender Passpunkte und zu wenigen Verknüpfungspunk-Merkmalen in den Thermalbildern kann die indirekte Georeferenzierung mit einem Bündelblockausgleich, wie in der Luftbildphotogrammetrie üblich [6], hier nicht angewendet werden. Deshalb wird die direkte Georeferenzierung aus [3] verwendet. Die Abweichung der Kiebitznest-Fundstellen liegt bei einer Flughöhe von 40 m bei maximal 5 m.

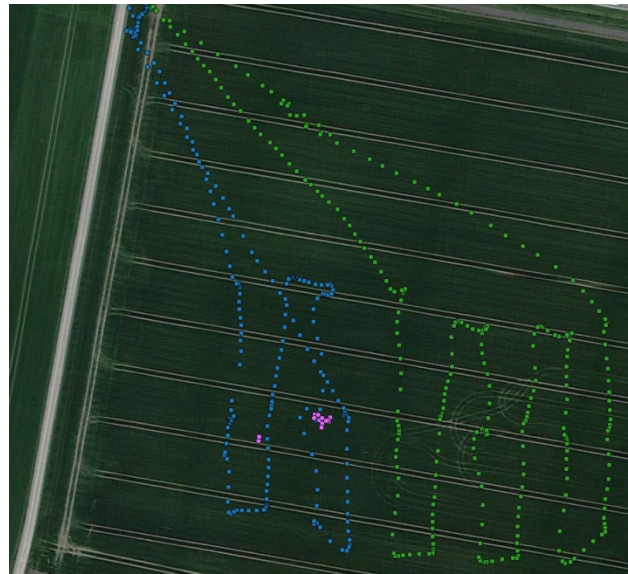


Abbildung 8 Der Flugpfad von zwei UAV-Flügen. Hier wurden zwei Kiebitznester (pinke Punkte) gefunden (Hintergrundbild: Google Maps / Digital Globe 2017).

Zunächst musste die Frage geklärt werden, ob man Kiebitznester mit einer Thermalkamera überhaupt finden kann. Aus diesem Grund wurde ein Feld ausgesucht, auf dem ein Kiebitznest bereits mit der klassischen Methode gefunden und mit Stäben markiert wurde. Wie erwartet flog der Vogel davon, als sich das UAV dem Nest näherte. Aus 30 m Flughöhe konnte das Nest eindeutig detektiert werden. Mit dem 19 mm Objektiv, das ein horizontales Gesichtsfeld von ca. 32° besitzt, wurde das Nest dabei auf ca. 4x4 Pixel abgebildet. Die Eier waren ca. 10 K wärmer als ihre Umgebung. Etwa drei Minuten nachdem das UAV gelandet war, saß der Vogel wieder auf dem Nest.

Der nächste Flug wurde auf einem Feld durchgeführt, auf dem ein Kiebitznest vermutet, dieses aber noch nicht markiert wurde. Da die Sonne bereits unterging, war die Detektion auf dem Thermalbild noch einfacher als beim Feld zuvor. Im Gegensatz zur IR-Kamera ist es allerdings sehr schwierig, das Nest auf den Bildern der GoPro-Kamera zu entdecken. Abbildung 9 zeigt die Bilder der IR- und VIS-Kamera von diesem Kiebitznest. Es hat sich auch bei den weiteren Versuchen gezeigt, dass Kiebitznester bei schwacher Bestrahlungsstärke der Sonne mit Hilfe einer Thermalkamera sehr einfach detektiert werden können. Eine schwache Bestrahlungsstärke besteht beispielsweise bei bedecktem Himmel oder nach Sonnenuntergang.

Der MbOpt-Algorithmus konnte den Kontrast in den Thermalbildern, abhängig von Kameragehäuse-Temperatur-Drift, zwischen 10 und 50 % verbessern. Dabei wurde der Unterschied zwischen der gemessenen maximalen Nest-Temperatur und der Durch-

schnittstemperatur der Nestumgebung vor und nach Anwendung des MbOpt-Algorithmus verglichen.

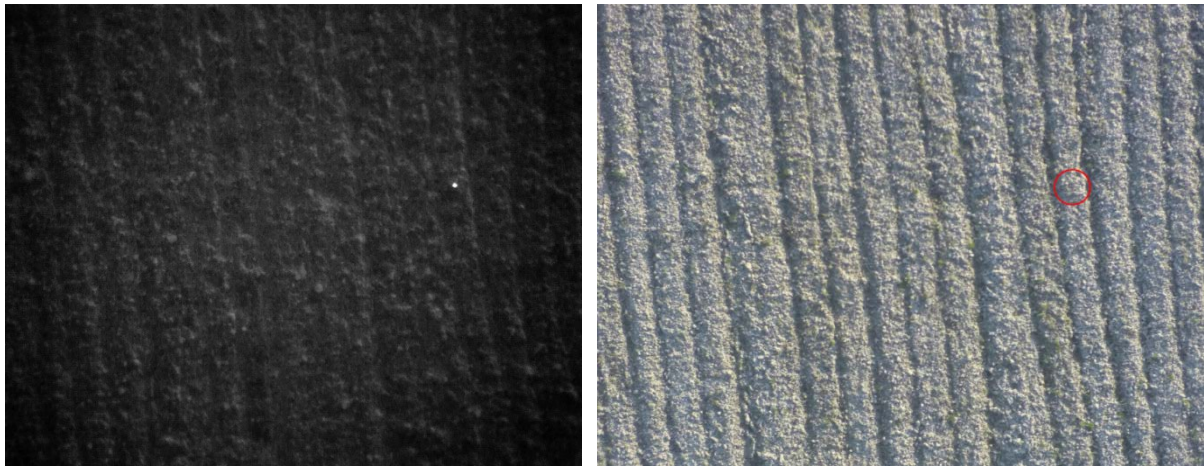


Abbildung 9 IR- und VIS Bild von einer Szene mit einem Kiebitznest (roter Kreis) aus 30 m Flughöhe.

In Abbildung 10 sind die maximalen Temperaturen T_{nest} der Nester in rot gezeigt. In grün ist die Durchschnittstemperatur T_{sur} eines 2-4 Pixel breiten Rings um das jeweilige Nest angetragen. Die Differenztemperatur $\Delta T = T_{\text{sur}} - T_{\text{nest}}$ ist in blau angetragen. Obwohl die Kamera radiometrisch kalibriert ist, sind die Absolut-Temperaturen stark fehlerbehaftet. Das liegt unter anderem an der Bewegungsunschärfe aufgrund der festen Integrationszeit von ca. 15 ms des Vanadium Oxid basierten Focal Plane Arrays der Thermalkamera [3]. Die Nester, bei denen $\Delta T > 5$ K gemessen wurde, konnten sehr leicht detektiert werden. Geringere Differenztemperaturen wurden entweder bei Flughöhen über 50 m oder bei sehr hoher Bestrahlungsstärke der Sonne ($E > 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$) gemessen. Weiteres zu den Kampagnen ist in [4] zu finden.

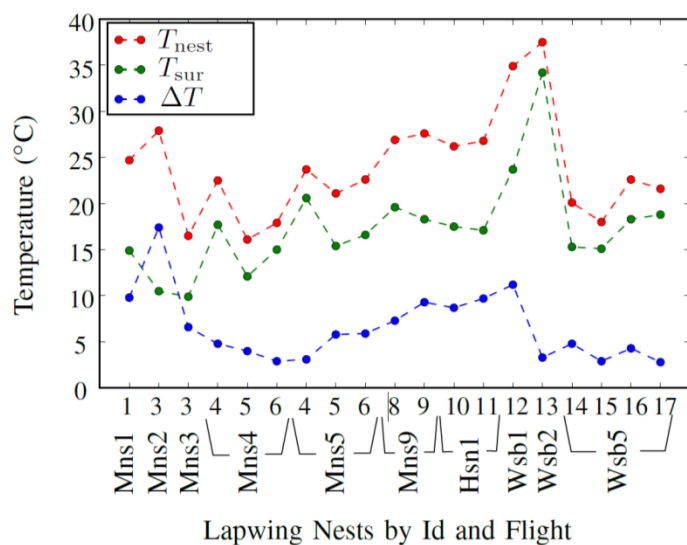


Abbildung 10 Die Temperaturen der gefundenen Kiebitzester und deren Umgebungstemperatur. Die Maximaltemperaturen des Nests sind in rot angetragen, die durchschnittliche Umgebungstemperatur in grün. Die blaue Kurve zeigt die Differenz der beiden Werte.

Obwohl die vom Brutvogel verlassenen Nester nachts an kalten Tagen am leichtesten detektiert werden könnten, ist dies kein günstiger Messzeitpunkt, denn die Eier kühlen dann sehr schnell unter die kritische physiologische Null-Temperatur bei ca. 25°C [7] ab. An kalten Tagen sollte eine Fläche aus diesem Grund auch nicht mehrmals hintereinander überflogen werden. Der Flug Mns3 wurde nach Sonnenuntergang 39 Minuten nach dem Flug Mns2 durchgeführt. In dieser Zeit kühlte das Nest um 11,4 K ab. Am

nächsten Tag saß kein brütender Vogel mehr auf dem Nest. Es ist leider nicht unwahrscheinlich, dass dieser zweite Flug dafür verantwortlich war.

Hohe Flächenleistung ist deshalb, wie auch bei der Rehkitzsuche, von hoher Bedeutung bei der Kiebitznest-Suche. Sie wird erreicht durch große Flughöhe und große Geschwindigkeit. Beide Missionsparameter führen zu geringerem Kontrast im Thermalbild und dadurch zu schlechterer Detektierbarkeit der Kiebitznester. Ein guter Kompromiss liegt für die verwendete Kamera bei ca. 40 m Flughöhe mit einer durchschnittlichen Fluggeschwindigkeit von 2,5 m/s. Damit erreicht man eine Flächenleistung von ca. 3 ha/Flug.

Literaturverzeichnis

- [1] Dominique Chabot and David M Bird. *Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese*. Waterbirds, 35(1):170–174, 2012.
- [2] Kirk J Havens and Edward J Sharp. *Using thermal imagery in the aerial survey of animals*. Wildlife Society Bulletin, pages 17–23, 1998.
- [3] Martin Israel. *Entwicklung eines UAV-basierten Systems zur Rehkitzsuche und Methoden zur Detektion und Georeferenzierung von Rehkitzen in Thermalbildern: Der Fliegende Wildretter*. PhD thesis, Universität Osnabrück, 2015.
- [4] Martin Israel. *Detecting nests of lapwing birds with the aid of a small unmanned aerial vehicle with thermal camera*. In 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). IEEE, submitted 2017.
- [5] Martin Israel, Manuel Mende and Stefan Keim. *UAVRC, a generic MAV flight assistance software*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W4:287–291, 2015.
- [6] K. Kraus. *Photogrammetrie*. Band 1. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2004.
- [7] Terje Lislevand. *Male incubation in northern lapwings: effects on egg temperature and potential benefits to females*. Ornis Fennica, 78:23–29, 2001.
- [8] WJ Peach, PS Thompson, and JC Coulson. *Annual and long-term variation in the survival rates of british lapwings vanellus vanellus*. Journal of Animal Ecology, pages 60–70, 1994.
- [9] Luc Schifferli, Reto Spaar, and Andreia Koller. *Fence and plough for lapwings: Nest protection to improve nest and chick survival in swiss farmland*. Osnabrücker Nat. wiss. Mitt, 32:123–129, 2006.
- [10] T. Wimmer, M. Israel, P. Haschberger und A. Weimann. *Rehkitzrettung mit dem fliegenden Wildretter: Erfahrungen der ersten Feldeinsätze*. In 19. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft, number 81, pages 85–95, 2013.